

# Wie grün sind deutsche Städte? Indikatorgestützte fernerkundliche Erfassung des Stadtgrüns

## *Indicator-based Remote Sensing Analysis of the Urban Green*

Lisa Eichler<sup>1</sup>, Tobias Krüger<sup>1</sup>, Gotthard Meinel<sup>1</sup>, Julia Tenikl<sup>2</sup>, Michael Wurm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR), Dresden · [l.eichler@ioer.de](mailto:l.eichler@ioer.de)

<sup>2</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD), Oberpfaffenhofen

**Zusammenfassung:** Mithilfe von Sentinel-2-Daten kann das urbane Grün für die bundesdeutschen Städte flächendeckend erfasst und klassifiziert werden. Die in einem laufenden Forschungsprojekt erarbeitete Klassifikation der Satellitendaten bildet die Grundlage für eine indikatorengestützte Analyse des Stadtgrüns. Der dabei verwendete multiskalare Ansatz ermöglicht Vergleiche auf verschiedenen räumlichen Ebenen, vom Städtevergleich bis zur innerstädtischen Defizitanalyse. Mit den Indikatoren Grünausstattung, Grünraumversorgung, Grünerreichbarkeit, Grünraumvernetzung, klimaaktive Flächen und Grünvolumen werden dabei verschiedene Aspekte des Stadtgrüns analysiert und eine Beurteilung ermöglicht.

**Schlüsselwörter:** Fernerkundung, Stadtgrün, Sentinel-2, Indikatoren

**Abstract:** *Using Sentinel-2 data urban green can be classified for German cities. This classification of the satellite data, which has been developed in an ongoing research project, is the basis for an indicator-based analysis of the urban green of German cities. The multi-scale approach used allows comparisons on different spatial levels, from city comparisons to inner city deficit analysis. With the indicators green amenities, green space supply, green accessibility, green space connectivity, climate-active areas and green volume, different aspects of urban green are analysed and assessed.*

**Keywords:** *Remote sensing, urban green, Sentinel-2, indicators*

## 1 Motivation

Stadtgrün kommen vielfältige Aufgaben zu. So dienen Grünflächen der Erholung der Stadtbevölkerung. Als Orte der Begegnung und Integration, für Bewegung, Sport und Spiel verbessern sie die Lebensqualität der Bevölkerung. Als Frischluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebiete und durch Temperaturregulierung, Luftreinhaltung und Retention wirken sich grüne Freiräume auch positiv auf das Stadtklima und den Wasserhaushalt aus. Stadtgrün ist immer auch Lebensraum für Flora und Fauna und trägt somit zur biologischen Vielfalt bei und dient als Naturerfahrungsraum. Verbundene Grünräume ermöglichen als Lebensraumkorridore die Vernetzung von Biotopen (BMUB, 2017).

Doch urbane Grünflächen sind ungleich verteilt. So verfügen, gemessen an der Einwohnerzahl, Großstädte über weniger Grün als Kleinstädte. Hoch verdichtete Quartiere zeichnen sich durch weniger Grün aus als locker bebaute Quartiere. Und auch sozial benachteiligte Wohngebiete bieten zumeist ihren Bewohnern weniger Grün als der städtische Durchschnitt (BMUB, 2015). Im „Weißbuch Stadtgrün“ (BMUB, 2017) gibt sich daher die deutsche Bundesregierung die Aufgabe, Orientierungs- und Kennwerte für das Stadtgrün zu entwickeln, welche einen empfehlenden Charakter haben. Sie sollen Kommunen als Argumentations-

und Planungsgrundlage für eine bedarfsgerechte, vernetzte Grünraumversorgung in der Stadtentwicklung dienen. Um jedoch den Ist-Zustand des Stadtgrüns erfassen, Defizite erkennen und eine Entwicklung beobachten zu können, bedarf es geeigneter Indikatoren, in denen sich die Funktionen des Stadtgrüns widerspiegeln. Von Grunewald et al. (2016) werden bundesweit nutzbare Indikatoren zur Erreichbarkeit öffentlicher Grünflächen vorgeschlagen. Diese lassen sich, ergänzt um weitere Indikatoren, in einem Messansatz von Richter et al. (2017) zur Grünflächenversorgung von Einwohnern auf Stadt- und Stadtteilebene wiederfinden, welcher einen Ansatzpunkt für die Entwicklung eines Indikatorensets bietet.

Es fehlt jedoch bisher eine bundesweit verfügbare Datengrundlage, welche in allen deutschen Städten das Stadtgrün nach einheitlichen Kriterien beschreibt und sowohl interkommunale als auch innerstädtische Vergleiche ermöglicht. Bisher führen nur vereinzelt deutsche Städte ein fernerkundliches Grünraummonitoring durch, wie z. B. Potsdam (Schmäh & Tervooren, 2019). Mittels fernerkundlicher Verfahren unter Verwendung hochauflösender Satellitendaten kann eine einheitliche Datengrundlage teilautomatisiert geschaffen werden. Aufgrund der langfristig angelegten Dauer der Sentinel-2-Mission können Zeitreihen und ein Monitoring auf dieser Basis konzipiert werden.

## **2 Landbedeckungsklassifikation als Datengrundlage**

### **2.1 Datenbasis Sentinel-2 und LUCAS-Referenzpunkte**

Die Datenbasis für eine bundesweite Landbedeckungsklassifikation bilden Satellitendaten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus, welches mit der Sentinel-Mission kostenfrei Satellitendaten zur Verfügung stellt. Sentinel-2 nimmt mit zwei baugleichen, hochauflösenden und multispektralen Satelliten (Sentinel-2A und Sentinel-2B) die Erdoberfläche auf. Vorteile der Mission liegen in den zeitlich engen Wiederholzyklen von 5 Tagen und den mit großen Schwadbreiten (290 km) erfassten und mit einer räumlichen Auflösung von 10 m hochaufgelösten Daten. Der erste Satellit (Sentinel-2A) wurde im Juni 2015 in die Umlaufbahn gebracht, Sentinel-2B folgte im März 2017 (ESA, 2019). Durch die Zwillingiskonstellation der Satelliten stehen seit Mitte 2017 ca. 30 Aufnahmen pro Monat für Deutschland zur Verfügung.

Als Trainings- und Validierungsdaten werden die Messpunkte der LUCAS-Erhebung (Land Use and Coverage Area frame Survey) von 2015 genutzt, welche seit 2001 EU-weit durchgeführt wird. Für Deutschland sind mehr als 26.000 Punkte verfügbar, die alle drei Jahre in situ systematisch für die EU-Staaten nach einheitlich definierten Erfassungskriterien erhoben werden. Die Verortung der LUCAS-Punkte befindet sich an den Schnittstellen eines regulären 2 x 2 km INSPIRE-Rasters (Eurostat, 2019).

### **2.2 Erstellung einer bundesweiten Landbedeckungsklassifikation**

Als Eingangsdaten zur Erstellung der Landbedeckungsklassifikation werden die Sentinel-2-Daten genutzt, wobei eine Fokussierung auf die Sommermonate Mai bis September erfolgte, um phänologische Einflüsse durch die Variabilität der Vegetation berücksichtigen zu können. Die Zahl der auswertbaren Satellitenbildszenen wurde zudem durch die Festlegung eines maximalen Wolkenbedeckungsschwellwertes von weniger als 60 % reduziert. Wegen der in der Anfangsphase der Mission geringer ausfallenden Wiederholraten des Überflugs war es not-

wendig, neben Aufnahmen aus dem Sommer 2015 auch Daten der Jahre 2016 und 2017 in die Bildanalyse einfließen zu lassen.

Vor der thematischen Bildanalyse werden die Satellitenbilddaten durch eine Wolkenmaske basierend auf dem QA60-Band vorprozessiert. Anschließend kann durch eine Überlagerung der Satellitenbildkacheln ein wolkenfreies Bildmosaik aus dem Median aller sich überlagernden Grauwerte pro Bildpunkt (Pixel) für den Zeitraum 2015-2017 gebildet werden. Dieses Medianmosaik wurde für die spektralen Bänder 2, 3, 4 und 8 erstellt. Gegenüber einem arithmetischen Mittelwert wird durch dieses Verfahren sichergestellt, dass keine statistischen Ausreißer die Analyse beeinflussen. In weiteren Schritten werden die Indizes Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) (Tucker, 1979), Normalised Difference Water Index (NDWI) (McFeeters, 1996) und Normalised Difference Built-Up Index (NDBI) (Zha et al., 2003) und fokale Texturmerkmale erster Ordnung berechnet. Mack et al. (2017) nutzten dieses Verfahren, um die Saisonalität der Vegetation gut darzustellen.

Die darauffolgende Klassifikation wird mit dem maschinellen Lernverfahren Random Forest (Breiman 2001) auf Basis dieser generierten Layer gebildet. Für diese Trainings wurden als Datengrundlage 80 % der LUCAS-Referenzpunkte für das Bezugsjahr 2015 genutzt. Die restlichen 20 % der Punkte dienten in weiteren Schritten zur Validierung der Klassifikationsergebnisse (Tenikl et al., 2019).

Bei der Landbedeckungsklassifikation werden sieben Klassen unterschieden: bebaut/versiegelt, offener Boden, Laubholz, Nadelholz, Ackerland, Wiese und Wasser. Insbesondere die Klassen Laubholz, Nadelholz und Wiese spiegeln das städtische Grün wider. Die ermittelte Gesamtgenauigkeit (Overall Accuracy), bezogen auf alle sieben Klassen, weist einen hohen Wert von 93,6 % ( $\kappa = 0,912$ ) auf (Weigand et al., 2020). Die fertiggestellte Landbedeckungsklassifikation für den Zeitraum 2015-2017 bildet die Grundlage für die indikatorgestützte Erfassung des Stadtgrüns. Das Klassifikationsprodukt ist für Deutschland unter dem Namen LandCover-DE als Datensatz frei verfügbar (DOI: <https://doi.org/10.15489/1ccmlap3mn39>).

## 3 Entwicklung der Indikatoren

### 3.1 Entwicklungsansatz

Für die Entwicklung und Einordnung der Indikatoren wird ein multiskaliger Ansatz verfolgt (Abbildung 1). Als Ausgangsdaten zur Klassifizierung des Stadtgrüns dient die Landbedeckungsklassifikation (siehe Kapitel 2). Entsprechend der Klassifikation der Vegetation werden die 10 x 10 m Pixel den Grünklassen (Vegetationstypen) Laubholz, Nadelholz und Wiese zugeordnet (Pixeltyp). Auf der Pixelebene sind somit Aussagen zum Vegetationsindex und eingeschränkt zur Vegetationsschicht möglich.

Die klassifizierten Pixel bilden die Grundlage für die Bildung von Objekten, welche die Grünflächen darstellen. Eine Grünfläche setzt sich aus mehreren nachbarschaftlich verbundenen Pixeln der Grünklassen zusammen. Der Begriff „Grünfläche“ bezeichnet daher hier nicht nur städtebauliche Anlagen, die als Liegenschaft in der Verantwortung von privaten oder öffentlichen Trägern stehen (z. B. Parks, Gärten, Sportplätze), sondern alle innerstädtischen vegetationsbestandenen Flächen, welche sich anhand der Satellitendaten identifizieren und über Objektbildungsregeln bildanalytisch ermitteln lassen. Abhängig von der Vegeta-

tionsausstattung und der räumlichen Verteilung der Vegetationstypen innerhalb der Grünfläche unterscheiden sich diese auch bezüglich ihrer geometrischen Parameter (Größe, Form, Lage) und auch in funktionaler Hinsicht beispielsweise als Erholungsfläche oder in ihrer Klimawirkung. Durch Anreicherung mit ergänzenden Informationen, wie beispielsweise Landnutzungsinformationen aus dem ATKIS-BasisDLM, können weitere Eigenschaften mit den einzelnen Grünflächen verknüpft werden. Aus den Eigenschaften der Grünflächen lassen sich anschließend Grünflächentypen bestimmen.

Im Rahmen eines innerstädtischen Vergleichs, der Ermittlung von Defiziten oder zur Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen, bietet sich für die Analyse verschiedener Aspekte des städtischen Grüns eine Untergliederung der Stadt in Teilbereiche an. Städte können nach verschiedenen Kriterien in städtische Teilgebiete untergliedert werden. Hierfür können insbesondere Verwaltungseinheiten wie Stadtbezirke/Stadtteile oder statistische Bezirke/Blöcke genutzt werden, da diese die räumlichen Bezugsebenen der städtischen Planung und auch Identifikationsräume für die Bewohner darstellen. Entsprechende Datensätze sind aber nicht für alle Städte verfügbar. Zudem sind sie auch heterogen im Zuschnitt, ihrer Größe und Struktur. Sie eignen sich daher gut für intrakommunale Vergleiche, sind jedoch bei überörtlichen Studien nur limitiert sinnvoll einzusetzen (Jehling et al., 2018). Eine weitere Möglichkeit der Unterteilung der Städte bieten INSPIRE-konforme geografische Gitter. Im Vergleich zu Verwaltungseinheiten bieten sie den Vorteil, dass sie ein Gebiet in identische, zeitlich stabile Raumeinheiten unterteilen, welche sich für flächendeckende und kleinräumige Analysen eignen (Statistisches Bundesamt, 2016).

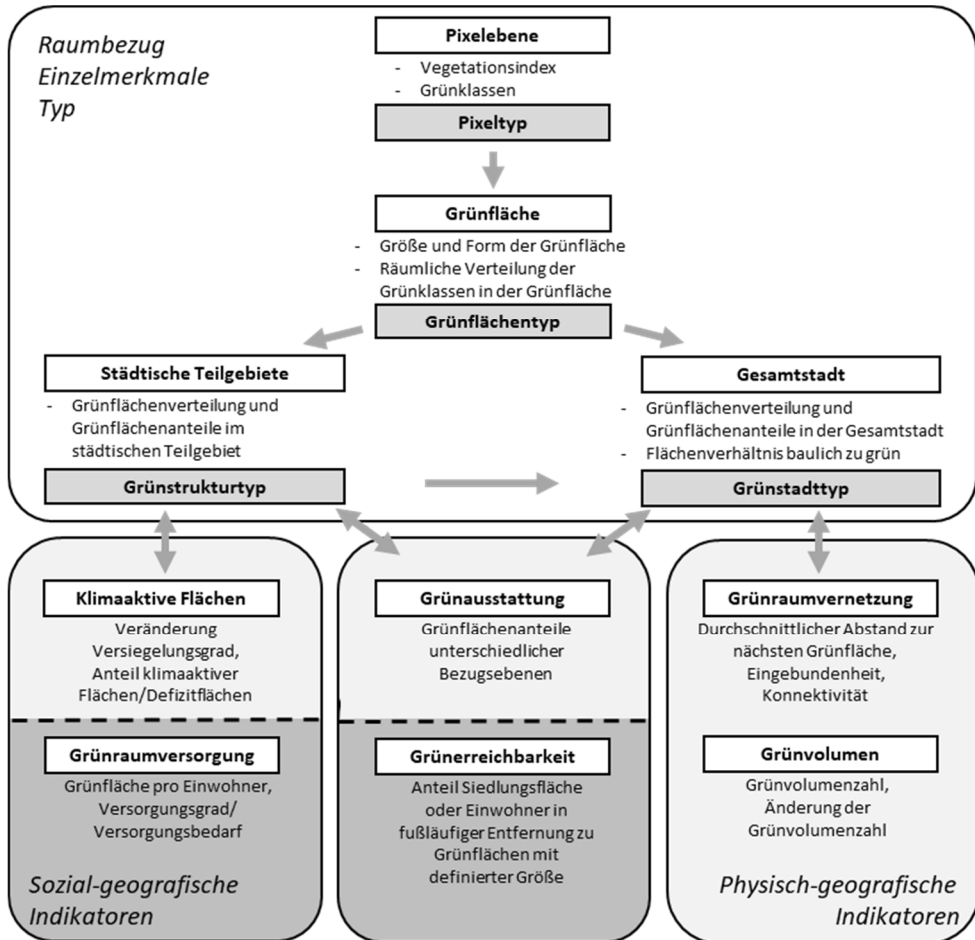
So lassen Betrachtungen der Grünflächen in den Teilgebieten Aussagen zu deren Anzahl und räumlicher Verteilung zu. Zudem sind auch Aussagen zum Verhältnis baulich geprägter zu grünbestandenen Flächen möglich. Städtische Teilgebiete lassen sich mit diesen Informationen in Grünstrukturtypen differenzieren. Über die Ränder der Teilgebiete hinaus bedarf es für einige Indikatoren einer Betrachtung aus gesamtstädtischer Sicht. So dürfen beispielsweise Aspekte der Grünraumvernetzung nicht isoliert für die einzelnen städtischen Teilbereiche betrachtet werden. Eine Typisierung der Gesamtstadt hinsichtlich ihrer Ausstattung, Versorgung und Vernetzung mit Grün kann eine Grundlage für einen bundesweiten Städtevergleich bilden. Differenziert nach Grünstadttyp lassen sich anschließend für die Städte Handlungsempfehlungen bezüglich nachhaltiger Stadtentwicklung und Stadtgrün entwickeln.

Grünstrukturtyp und Grünstadttyp werden mit Kennwerten physisch-geografischer und sozial-geografischer Indikatoren (siehe Kapitel 3.2) untersetzt. Die Berechnung der Kennwerte der Indikatoren erfolgt auf der entsprechenden räumlichen Ebene der Typen. Generell lassen sich alle Indikatoren sowohl auf gesamtstädtischer Ebene als auch auf der Ebene der Teilgebiete berechnen. In der Abbildung 1 sind die Indikatoren jedoch der räumlichen Ebene zugeordnet, für die eine Berechnung des Indikators als besonders aussagekräftig erscheint.

### 3.2 Indikatoren-Set

Nachfolgend werden die Indikatoren vorgestellt, welche sich mittels Fernerkundung, insbesondere durch die Verwendung der Klassifizierung von Grün aus der Sentinel-2-basierten Landbedeckungsklassifikation ermitteln lassen. Für die Berechnung der Indikatorwerte sind zumeist weitere Daten, beispielsweise Einwohnerzahlen, notwendig. Je nach Verfügbarkeit dieser zusätzlichen Daten lassen sich für die entsprechenden Kennwerte bundesweit oder nur für einzelne Städte berechnen. Orientierung zu geeigneten, praxisrelevanten Indikatoren und

deren Kennwerte für Stadtgrün bieten die Ergebnisse des Projektes „Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz“ (BBSR, 2017).



**Abb. 1:** Schema Entwicklungsansatz mit Indikatoren und deren Kennwerten

### 3.2.1 Physisch-geografische Indikatoren

**Grünraumversorgung:** Lebensqualität, Wohlbefinden und Identifikation können durch Stadtgrün gefördert werden. Es ist somit ein essenzieller Teil der kommunalen Grundversorgung (BMUB, 2015). Der Indikator Grünraumversorgung beschreibt den Anteil des Grüns in der Stadt quantitativ. Unabhängig von der ausgewiesenen Flächennutzung soll der tatsächliche Grünanteil erfasst werden, um somit eine Überprüfung der Grünentwicklung über einen längeren Zeitraum zu ermöglichen (BBSR, 2017). Bisher fehlte eine eindeutige Definition, welche Art von Grünflächen in die Berechnung einbezogen werden sollen, wodurch die quantitative Grünraumversorgung in den Städten je nach Berechnungsgrundlage variiert (BBSR, 2017).

**Grünraumvernetzung:** Bestimmte Wirkungen von Grün entfalten sich erst im Verbund. So tragen Biotopverbundsysteme und ökologische Trittsteine als Habitatverbund zu einer reichhaltigen und erfahrbaren Stadtnatur bei und stabilisieren lokale Populationen gegenüber Störungen (BMUB, 2015). Der Indikator Grünraumvernetzung beschreibt die Verknüpfung bestehender Grünräume, welche somit zur ökologischen Aufwertung, der Erhöhung des Erholungswertes und zu einem positiven Einfluss auf Stadtklima sowie der Aufwertung des Stadtbildes beitragen (BBSR, 2017).

**Klimaaktive Flächen:** Die in der Stadt vorhandenen Oberflächenmaterialien zeichnen sich durch unterschiedliche Wärmereflexions-, Leit-, und Speichereigenschaften aus, wodurch sie sich unterschiedlich stark aufheizen. Insbesondere in dicht bebauten Gebieten mit hohem Versiegelungsgrad entstehen Wärmeinseln (Böhm et al., 2016). Die Bodenversiegelung kann als Schlüssel für den Indikator klimaaktive Flächen angesehen werden, denn über den Versiegelungsgrad lassen sich Aussagen zur mikroklimatischen Situation im städtischen Raum ableiten (Hennersdorf & Lehmann, 2014).

**Grünvolumen:** Neben der Verteilung ist auch die Masse des städtischen Grüns für die klimatologische und ökologische Leistungsfähigkeit entscheidend (BBSR, 2017). So sind beispielsweise Transpirationsleistungen und die damit einhergehenden Abkühlungseffekte umso höher, je größer das Volumen an städtischem Grün ist (BMUB, 2015). Das Grünvolumen ist daher ein Indikator für die klimatologischen und ökologischen Leistungen, insbesondere für den bioklimatischen Ausgleich und die lufthygienische Qualität (Hennersdorf & Lehmann, 2014). Anders als die Indikatoren Grünausstattung, Grünraumvernetzung und klimaaktive Flächen kann das Grünvolumen nicht unmittelbar aus der Landbedeckungsklassifikation abgeleitet werden. Vielmehr sind hierfür weitere Fernerkundungsdaten wie Stereo-Luftbilder oder Laserscandaten nötig.

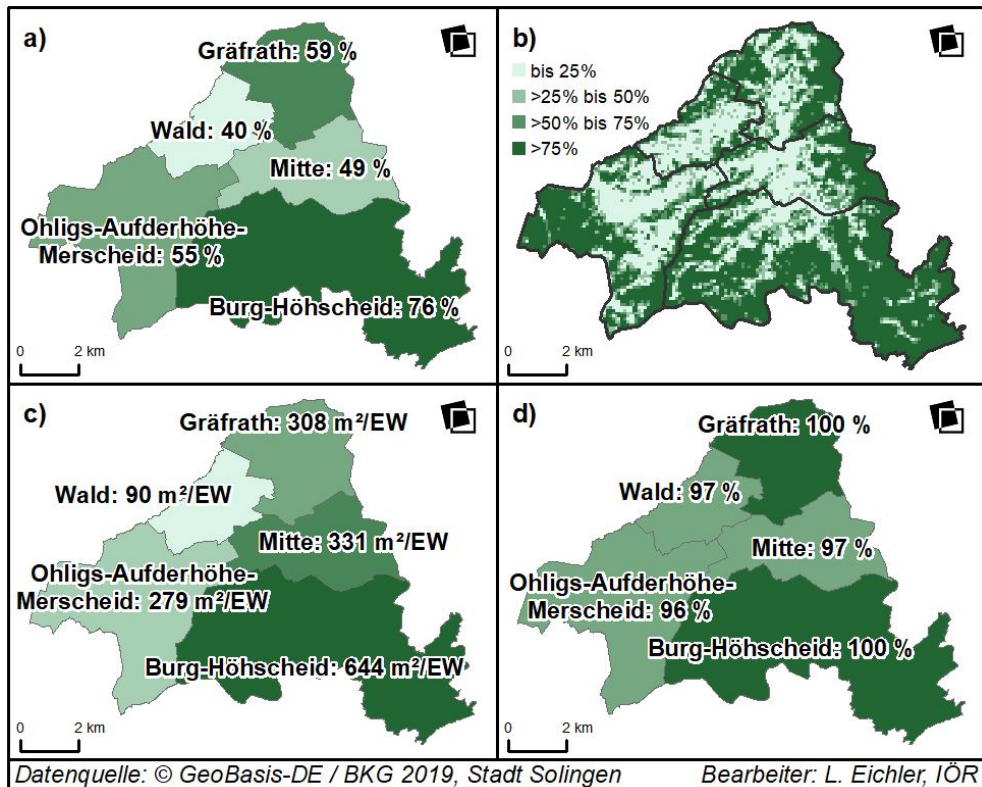
### 3.2.2 Sozial-geografische Indikatoren

**Grünraumversorgung:** Der Bedarf an öffentlichem Grün ist in sozial benachteiligten Wohngebieten höher. Denn diese weisen einen geringeren Anteil an privaten Grünflächen (Gärten, Balkone etc.) und eine weniger mobile Einwohnerschaft auf (BMUB, 2015). Der Indikator Grünraumversorgung beschreibt die Versorgung der Stadtbewohner mit urbanem Grün (BBSR, 2017). Unter dem Aspekt der Umweltgerechtigkeit, kann er zur Abschätzung des Versorgungsbedarfs und der Ermittlung von Gründefiziten sowie der Steuerung einer bedarfsgerechten Verteilung von Grünflächen dienen (BBSR, 2017).

**Grünerreichbarkeit:** Eine gesellschaftliche Nutzung von Stadtgrün ist erst durch die fußläufige Erreichbarkeit gegeben und zudem von der Größe und Wegführung abhängig (BMUB, 2015). Der Indikator Grünerreichbarkeit beschreibt die Erreichbarkeit von öffentlich zugänglichen Grün- und Freiräumen, welche einen entscheidenden Einfluss auf die Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Stadtgrün hat. Berechnungen der fußläufigen Erreichbarkeit über Luftliniendistanzen bilden allerdings nur bedingt die realen Erreichbarkeiten ab. Die Erfassung von Barrieren erweist sich jedoch als komplex.

## 4 Exemplarische Ergebnisse

Am Beispiel der Großstadt Solingen in Nordrhein-Westfalen soll ansatzweise die oben beschriebene indikatorbasierte Analyse des Stadtgrüns dargestellt werden.



**Abb. 2:** a) Grünanteil der Stadtbezirke Solingen, b) Grünanteil 100 × 100 m-Gitterzellen von Solingen, c) Grünfläche pro Einwohner für die Stadtbezirke Solingen, d) Anteil der Siedlungsfläche der Stadtteile Solingen, welche max. 300 m von einer mind. 1 ha großen Grünfläche entfernt ist.

Die technische Umsetzung der Indikatorberechnung erfolgte dabei durch standardisierte GIS-basierte Methoden, konkret mittels ArcGIS 10.2. Als Eingangsdatensatz dient das oben eingeführte Klassifikationsprodukt LandCover-DE. Für die geometrischen Abgrenzungen der Untersuchungseinheiten wurden die Stadtbezirksgrenzen (zur Verfügung gestellt) und INSPIRE-Gitterzellen (gem. Definition) genutzt.

Der Kennwert des Indikators Grünausstattung „Grünanteil bezogen auf das administrative Stadtgebiet“ beschreibt den Anteil des Stadtgrüns an der Gesamtfläche der Stadt in Prozent und kann für einen Vergleich der Städte untereinander herangezogen werden. Auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen berechnet, wie Stadtbezirke (Abbildung 2a) oder einem 100 × 100 m-Gitter (Abbildung 2b), wird ein Überblick zur Verteilung des Stadtgrüns in der Stadt gegeben.

Der Indikator Grünraumversorgung mit dem Kennwert „Grünfläche pro Einwohner im definierten Einzugsgebiet“ bezieht zudem die Einwohnerzahl mit ein und gibt an, wie viel Quadratmeter Grünfläche pro Einwohner statistisch innerhalb der Stadtgrenzen vorhanden sind. Für die Berechnung dieses Kennwertes auf verschiedenen räumlichen Ebenen ist die Verfügbarkeit der Einwohnerzahl entscheidend. In der Abbildung 2c wird für Solingen das vorhandene Stadtgrün pro Einwohner je Stadtbezirk angegeben.

Inwieweit die Einwohner das Stadtgrün theoretisch jedoch auch nutzen können, zeigt der Indikator Grünerreichbarkeit mit dem Kennwert „Anteil der Siedlungsfläche in definierter Entfernung zu Grünflächen mit definierter Mindestgröße“. Als Grundlage für diesen Kennwert können die Richtwerte von Grunewald et al. (2016) dienen, welche für nahe städtische Grünflächen eine Größe von mindestens 1 ha und eine Distanz von 300 m Luftlinie angeben. In der Abbildung 2d wird deutlich, dass zwar in allen Stadtteilen von Solingen von der Siedlungsfläche nahe Grünflächen erreichbar sind. Unberücksichtigt bleiben hier jedoch Barrieren, die die Erreichbarkeit beeinträchtigen, sowie die Frage, ob es sich tatsächlich um öffentliche, frei zugängliche Grünflächen handelt. Eine Einbeziehung weiterer Daten wäre hier erforderlich, um zu präziseren Aussagen zu gelangen.

## 5 Diskussion und Ausblick

Die Landbedeckungsklassifikation mittels Sentinel-2-Daten bietet die Möglichkeit einer einheitlichen, flächendeckenden Erfassung von Stadtgrün. Mit der gegebenen Auflösung von 10 m können jedoch sehr kleine Grünflächen oder Einzelbäume nicht erfasst werden, da hier die Pixel oft größer sind als die Dimension der abzubildenden Objekte. Die dadurch entstehenden Mischpixel erschweren eine eindeutige Klassifikation, insbesondere in sehr heterogenen Strukturen wie Kleingartenanlagen oder durchmischte Baugebieten. Verbesserungen der Landbedeckungsklassifikation, auch im Hinblick auf ähnliche spektrale Signaturen (z. B. dunkle Schatten vs. Wasserflächen), können mit einer Postprozessierung des Klassifikationsergebnisses unter Einbeziehung weiterer Landnutzungsinformationen (z. B. ATKIS-Basis-DLM) sowie einer Ausweisung von durchgrüntem Siedlungsbereich angestrebt werden. Dies ist Gegenstand weiterer Untersuchungen im Projekt.

In Abhängigkeit von der Fragestellung können mittels der genannten Indikatoren unterschiedliche räumliche Ebenen analysiert und verglichen werden. Auf Ebene der Gesamtstadt lassen sich überblicksweise bundesweite Städtevergleiche ermöglichen. Innerstädtische Vergleiche und die Ermittlung von Defizitgebieten benötigen jedoch weitere feingranulare Daten z. B. zur Einwohnerzahl oder zur Zugänglichkeit von Grünflächen. Liegen diese vor, können die vorgestellten Indikatoren sehr viel differenzierter berechnet und analysiert werden.

Die Autoren schätzen die Übertragbarkeit des Ansatzes auf andere Städte als gegeben ein. Die Landbedeckungsklassifikation LandCover-DE ist mit homogenen Qualitätsmerkmalen für das gesamte Bundesgebiet verfügbar und kann mit der verwendeten Methodik unter Zuhilfenahme der LUCAS-Referenzpunkte zukünftig wiederholt erstellt werden. Die Berechnung der flächenbezogenen Indikatoren ist auf der Basis von Gemeindegrenzen oder geographischen Gittern ohne Einschränkung bundesweit möglich. Denkbar wäre eine Erweiterung des Ansatzes über die Landesgrenzen hinaus, wobei dann ggf. das Klassifikationsschema um weitere Vegetationstypen ergänzt werden müsste.



## Danksagung

Die Arbeiten zu diesem Konferenzbeitrag werden im Rahmen des Forschungsprojekts „Monitoring des Stadtgrüns – Wie grün sind bundesdeutsche Städte?“ vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert. Bei diesem Projekt werden Methoden zur bundesweit flächendeckenden Erfassung von Stadtgrün erarbeitet und getestet sowie Indikatoren zum Monitoring von urbanem Grün und zur Identifizierung von Defizitgebieten oder Städten mit insgesamt unzureichender Grünausstattung entwickelt.

## Literatur

- BMUB Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). *Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft: Grünbuch Stadtgrün*. Berlin.
- BMUB Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017). *Weißbuch Stadtgrün: Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft*. Berlin.
- Böhm, J. et al. (2016). Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. In: Bundesamt für Naturschutz (Eds.), *BfN-Skripten 444*. Bonn/Bad Godesberg.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR (2017). *Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz – Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte*. Bonn.
- ESA (2019). *Sentinel-2*. Retrieved December 04, 2019, from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description>.
- Eurostat (2019). *LUCAS – Land use and land cover survey*. Retrieved January 17, 2020, from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS\\_-\\_Land\\_use\\_and\\_land\\_cover\\_survey#How\\_is\\_LUCAS\\_conducted.3F](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey#How_is_LUCAS_conducted.3F).
- Grunewald, K. et al. (2016). Vorschlag bundesweiter Indikatoren zur Erreichbarkeit öffentlicher Grünflächen: Bewertung der Ökosystemleistung „Erholung in der Stadt“. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 48(7), 218–226.
- Hennersdorf, J., & Lehmann, I. (2014). Grünausstattung von Städten und Regionen und klimatische Wirkungen von Stadtgrün. In: W. Wende, S. Rößler & T. Krüger (Eds.), *Grundlagen für eine klimaangepasste Stadt- und Freiraumplanung* (pp. 21–41). Berlin: Rhombos (Publikationsreihe des Projektes REKLAM, 6).
- INSPIRE Spezifikation D2.8.I.2. Retrieved January 23, 2020, from [https://inspire.ec.europa.eu/documents/Data\\_Specifications/INSPIRE\\_DataSpecification\\_GG\\_v3.1.pdf](https://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_GG_v3.1.pdf).
- Jehling, M., Krüger, T., & Meinel, G. (2018). Vergleichende Stadtteilanalytik – Ansätze auf Basis des IÖR-Monitors. In: G. Meinel, U. Schumacher, M. Behnisch & T. Krüger (Eds.), *Flächennutzungsmonitoring X: Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren* (pp. 217–225). Berlin: Rhombos (IÖR-Schriften, 76).
- Mack, B., P. Leinenkugel, C. Kuenzer, & S. Dech (2017). A semi-automated approach for the generation of a new land use and land cover product for Germany based on Landsat time-series and Lucas in-situ data. *Remote Sensing Letters*, 8(3), 244–253.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- Richter, B., Behnisch, M., & Grunewald, C. (2017). Messansatz zur Grünflächenversorgung von Einwohnern auf Stadt- und Stadtteilebene. In: G. Meinel, U. Schumacher, S. Schwarz

- & B. Richter (Eds.): *Flächennutzungsmonitoring XI: Nachhaltigkeit der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung* (pp. 229–239). Berlin: Rhombos (IÖR-Schriften, 73).
- Schmäh, L., & Tervooren, S. (2019). Satellitengestütztes Umweltmonitoring – Auswertungen für Parks in der Landeshauptstadt Potsdam. In: R. Hüttel, K. David, & U. Schneider (Eds.), *Historische Gärten und Klimawandel* (pp. 237–250). De Gruyter Akademie Forschung.
- Statistisches Bundesamt (2016). *Nutzung geografischer Gitter durch die amtliche Statistik – Nationale Rechtsgrundlage, internationale Standards, aktuelle Produkte*. Retrieved January 14, 2020, from [https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/BKG/DE/Downloads-Veranstaltungen/Gewusst-wo-2016/StaBU\\_Nutzung\\_geografischer\\_Gitter\\_durch\\_die\\_amtliche\\_Statistik.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/BKG/DE/Downloads-Veranstaltungen/Gewusst-wo-2016/StaBU_Nutzung_geografischer_Gitter_durch_die_amtliche_Statistik.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Tenikl, J., Wurm, M., Weigand, M., Staab, J., Müller, I., & Taubenböck H. (2019). Satellitengestützte Vermessung von städtischem Grün in deutschen Städten. In: G. Meinel, U. Schumacher, M. Behnisch, & T. Krüger (Eds.): *Flächennutzungsmonitoring XI: Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün* (pp. 221–228). Berlin: Rhombos (IÖR-Schriften, 77).
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
- Weigand, M., Staab, J., Wurm, M., & Taubenböck, H. (2020). Spatial and semantic effects of LUCAS samples on fully automated land use/land cover classification in high-resolution Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102065.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594.